

# LES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE PASTORALE DU NIGER

Les eaux souterraines de la zone pastorale du Niger. Greigert J.. 1986. In : Elevage et potentialités pastorales sahéliennes. Synthèses cartographiques. Niger = Animal husbandry and sahelian pastoral potentialities. Cartographic synthesis. Niger. CIRAD-IEMVT - FRA. Wageningen : CTA-CIRAD-IEMVT, 18-19. ISBN 2-85985-120-8

## Vue d'ensemble

La zone pastorale traverse le territoire nigérien d'ouest en est sur une longueur de 1 400 km et une largeur de quelques dizaines de kilomètres à environ 250 km. En 1970, un inventaire, voulu exhaustif, y a identifié 3 350 points d'eau de tous types.

Placée entre la limite de culture permanente du mil au Sud et le pré-Sahara au Nord, elle aurait une pluviométrie "optimale" de 150 à 450 mm/an, les pluies en hivernages normaux tombant entièrement pendant les mois de juillet, août et septembre. Les températures moyennes varient de 17 °C à 37 °C, valeurs qui ne rendent pas compte des températures extrêmes réelles. L'évaporation est de 2 900 à 4 800 mm/an, ce qui signifie que seules, *a priori*, les pluies particulièrement abondantes sont capables de parvenir à certaines nappes.

L'analyse des formations géologiques récentes montre que le Niger, dans son ensemble, vit depuis 4 à 5 000 ans une ère d'aridité croissante, évolution insensible qui se rappelle à la mémoire de l'homme par des périodes de sécheresse plus ou moins cruelles, mais dont les conséquences s'aggravent à mesure qu'augmente le peuplement en hommes et en animaux.

Sous ces sévères conditions climatiques le réseau hydrographique permanent est réduit au lac Tchad et à son modeste affluent le Komadougou Yobé. Leurs eaux viennent du Sud. Partout ailleurs, les pluies ne provoquent que des écoulements d'eau temporaires à caractère torrentiel, assurant plus ou moins bien le remplissage de mares très nombreuses, mais dont la plupart sont sèches courant novembre. Peu sont pérennes.

Sauf à son extrémité occidentale et sur quelques dizaines de kilomètres seulement, le sous-sol du pays nomade nigérien est constitué de bassins sédimentaires reposant sur un socle hydrogéologique continu, fait de roches éruptives et métamorphiques. Ces bassins sont profonds au plus de 2 000 à 2 500 m, à l'exception du rift du Niger oriental, fosse dont le remplissage crétacé et tertiaire atteint peut-être 10 000 m.

L'examen des formations géologiques du Niger montre que ce pays a toujours été, même dans le rift, subhorizontal avec des pentes, à l'échelle de la région, quasi insignifiantes, ce qui implique le dépôt simultané du sable et de l'argile.

D'autre part, les sédiments se sont déposés, au Niger, essentiellement en régime continental, où la discontinuité lithologique est la règle. On a affaire à des séquences sable-argile où les sables grossiers et lavés se sont déposés dans les chenaux.

De ces conditions topographiques et géologiques résultent trois faits :

- les perméabilités sont très contrastées et le plus souvent basses, d'où une productivité des captages faible, des rabattements sous l'effet du puisage importants et un coût de l'eau élevé ;
- les aires de jaillissement sont d'extension réduite et les pressions faibles au niveau du sol ;
- des captages même voisins exploitant le même niveau stratigraphique peuvent avoir des productivités très différentes.

L'ensemble de ces formations géologiques possède deux types principaux d'aquifères :

- les aquifères discontinus, libres ou captifs, contenus dans les discontinuités des roches éruptives ou métamorphiques ou dans les alluvions. Ces nappes sont sous la dépendance directe des pluies ;
- les aquifères continus multicouches à nappes supérieures libres ou localement captives reposant sur des nappes profondes sous pression. Ces aquifères complexes sont en état de vidange, leurs eaux datant des périodes humides du quaternaire.

Jusqu'à la dernière guerre mondiale, les premiers ont assuré l'essentiel des "besoins traditionnels" en eau des populations nigériennes. Les seconds, seuls, permettent une exploitation par captages à débits élevés.

Au Niger, les écrans rigoureusement imperméables sont rares (argiles de l'Irhazer, attapulgites paléocènes) et de faible extension, aussi, par le jeu des discordances et des surfaces de discontinuité, les différents systèmes hydrauliques décrits plus bas sont en relation et forment finalement un immense système hydraulique unique, extrêmement complexe, où les pressions croissent avec la profondeur. Les châteaux d'eau en sont le Djado et la périphérie de l'Air, les exutoires les dallois Bosso et Maouri au sud-ouest et le rift au sud-est.

Dans cet ensemble, seuls quelques magasins à perméabilité bonne ou élevée peuvent être exploités à des débits s'évaluant en dizaines de m<sup>3</sup>/h sous des niveaux de pompage économiques.

La minéralisation des eaux, toujours à considérer comme agressives et corrosives, est, sauf rares exceptions, faible (quelques centaines de mg/l).



PUITS TRADITIONNEL

## **Les systèmes hydrauliques**

### **La série d'Ydoubon et les grès de Garsa**

Ces formations qui appartiennent au socle hydrogéologique, épaisses de plusieurs milliers de mètres, sont constituées par des roches métamorphiques stratifiées, plissées en amples synclinaux. Elles occupent l'extrême Ouest de la zone pastorale, sur une longueur d'une centaine de kilomètres. On sait, par des forages faits au Mali, qu'elles peuvent contenir des aquifères discontinus, libres ou captifs, dus à une porosité de fissure. Les forages profonds de 100 à 200 m offrent exceptionnellement des débits dépassant  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ . Au Niger, on ne connaît dans ces formations que quelques vieux puits, profonds de 30 à 40 m, sans intérêt autre que théorique.

### **Les eaux du groupe d'Agadez à l'Ouest et au Sud de l'Aïr**

Le domaine considéré ici, s'étend des reliefs de l'Aïr, qui est un affleurement du socle hydrogéologique, à la falaise de Tiguedit, qui marque la limite amont du système hydraulique géologiquement plus récent du continental intercalaire. Il dispose d'un seul magasin, mais d'un intérêt capital, celui des grès du groupe d'Agadez, en discordance sur des grès du primaire, pouvant contenir des eaux salées.

Ce groupe n'est exploitable qu'entre les méridiens  $6^{\circ}40'$  et  $8^{\circ}15'$ , car il est en contact à l'ouest avec des eaux salées du primaire et à l'est il se charge en argile. La nappe, libre près de l'Aïr, est mise en charge par les argiles de l'Irhazer et offre une aire de jaillissement démontrée par des sources artésiennes liées à des failles et par des forages.

La nappe libre est atteinte à une profondeur moyenne de 30 m, et le toit de la nappe captive entre quelques dizaines de mètres et 500 m, les failles étant responsables de ces différences. Les perméabilités sont toujours basses, mais le magasin, épais de 100 à 200 m, peut être exploité sur toute sa hauteur par des forages nus.

Les débits spécifiques sont ordinairement de  $0,5$  à  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  en moyenne, les transmissivités de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les eaux sont carbonatées sodiques, les pH de  $8,2$  à  $9,2$  et les résidus secs croissent en s'éloignant de l'Aïr de  $250$  à  $700 \text{ mg/l}$ , mais dépassent déjà  $1,5 \text{ g/l}$  sur le méridien  $7^{\circ}$  pour atteindre alors rapidement  $6 \text{ g/l}$ . L'exploitation des grès du groupe d'Agadez doit donc être conduite en évitant leur invasion par les eaux salées du primaire.

## **Le système hydraulique continental intercalaire**

Ce système intéresse toute la zone pastorale, à l'exception de son extrême Ouest et de la région d'Agadès. Il est aujourd'hui exploité par d'innombrables puits et de nombreux forages, tous à l'ouest du méridien 10°30, tandis qu'à l'est, bien que se poursuivant par des formations plus récentes, il n'est pas exploité, parce que relayé par les nappes du paléocène et des formations du Tchad.

Simplifiant à l'extrême, on distinguera dans cet aquifère, constitué de grès plus ou moins argileux et d'argiles plus ou moins sableuses, épais de 500 à 1 000 m :

- un système multicouche comprenant des nappes profondes sous pression surmontées par des nappes phréatiques d'extension relativement réduite ;
- au-dessus et uniquement dans le Sud-Ouest, une nappe contenue dans une unité lithologique très perméable épaisse de 50 à 100 m.

L'ensemble, à l'est du méridien 10°30 et à l'ouest du méridien 6° E est maintenu sous pression par un toit lithologiquement complexe dont l'épaisseur peut dépasser 700 m.

Pratiquement, l'utilisateur de ce système hydraulique distinguera deux domaines :

- le premier dans le centre de la zone pastorale, où il affleure et est exploité par des centaines d'ouvrages. Les puits atteignent l'eau à des profondeurs de 30 à 100 m. Les forages que l'on peut être amené à pousser jusqu'à 400 ou 500 m de profondeur sont crépinés sur 100 ou 200 m. Sans que l'on puisse cartographier des zones d'équidébit, on peut avancer que 75 p. 100 des puits ont des débits spécifiques inférieurs ou égaux à 2 m<sup>3</sup>/h et 5 p. 100 des débits compris entre 2 et 5 m<sup>3</sup>/h. La majorité des forages a des débits spécifiques également inférieurs à 2 m<sup>3</sup>/h, voire quelques centaines de litres par heure et par mètre de rabattement. Les transmissivités se placent entre 1·10<sup>-3</sup> et 1·10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s ;
- le second, là où le système est mis sous pression par le toit crétacé. Les forages, dont la profondeur varie de 200 à 800 m, ont des débits spécifiques ordinairement supérieurs à 2 m<sup>3</sup>/h, pouvant atteindre 10 à 15 m<sup>3</sup>/h, au Sud du parallèle 16° (transmissivité de l'ordre de 2·10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s). Les aires de jaillissement sont malencontreusement cantonnées dans les vallées de l'Oued Azaouak et de l'Ahzar sur la frontière malienne même.

Les eaux du continental intercalaire sont ordinairement carbonatées et bicarbonatées calciques, devenant chlorurées et sulfatées vers le Sud-Ouest. Les pH se situent entre 7 et 8 et les résidus secs connaissent leur minimum dans la région Tahoua-In Gall (100 à 200 mg/l) pour croître dans toutes les directions jusqu'à 500 mg/l.

## **Les eaux du crétacé supérieur et du paléocène**

Ces deux formations géologiques, d'une puissance totale pouvant dépasser 700 m, ne contiennent que des nappes discontinues liées à des pièges stratigraphiques au sein de dépôts semi-perméables, parfois imperméables. Les ouvrages qui y ont été creusés se sont révélés jusqu'à ce jour, sauf rarissimes exceptions, sans intérêt pour l'élevage.

Nous les mentionnons ici d'abord parce qu'elles mettent en charge les nappes du continental intercalaire, mais surtout parce que leurs eaux, lorsqu'elles en contiennent, peuvent être un obstacle très gênant lors du fonçage des puits reliés à un forage. Toutefois, on doit rappeler l'existence de la nappe sous pression contenue dans des calcaires à silex turoniens, exploitée avec succès à Emdemboutem dans le Nord-Tahoua.

Nous rappellerons que les forages pétroliers du rift oriental ont mis en évidence un crétacé supérieur où les sables lavés et grossiers peuvent avoir une puissance cumulée de 2 000 m. Les forages FAO de Chaoua et de N'Guel Gandi semblent montrer que, vers le Sud, ce crétacé supérieur serait plutôt de grès argileux. En fait, dans ce rift, tout reste à découvrir.

## **Le système hydraulique du continental terminal**

Il n'intéresse que l'extrémité sud-ouest de la zone pastorale sur 350 km en est-ouest et une largeur méridienne d'une trentaine de kilomètres. Il repose sur le crétacé supérieur paléocène qui le sépare du continental intercalaire mais, dans l'extrême-ouest, il est en contact direct avec le socle hydrogéologique (Série d'Ydoubon).

Dans la zone pastorale, l'épaisseur de cet aquifère varie de 0 à 150 m, peut-être 200 m. Il comprend des séries argileuses imperméables ou semi-perméables, où s'identifient des séries sableuses, les contrastes lithologiques étant brutaux. L'ensemble est plissé en une cuvette dont les points bas sont dans la région de Dogon Doutchi (épaisseur du remplissage 300 m). Les niveaux sableux semblent se rejoindre vers les bords de la cuvette.

L'analyse des résultats des puits et des forages permet de distinguer dans cet aquifère un système phréatique de nappes libres, parfois légèrement sous pression sur deux systèmes, dits des sables moyens et des sables inférieurs. Dans la zone pastorale, les eaux de ces sables peuvent être en charge par rapport à celles du système phréatique, tandis que les eaux du continental intercalaire y sont en charge par rapport à celles du continental terminal.

### **Le système phréatique**

Celui-ci est exploitable à l'est du méridien 3° et vers le nord jusqu'au parallèle de 15°30 mais, en fait, cette limite septentrionale est encore mal connue et, à l'ouest du méridien 3°, il est prudent de ne pas dépasser la latitude 15°15.

Il peut être capté par des puits trouvant ordinairement la nappe entre 30 et 50 m. On doit considérer que 30 p. 100 des puits ont un débit spécifique inférieur ou égal à 1 m<sup>3</sup>/h et 20 p. 100 entre 2 et 7 m<sup>3</sup>/h.

Les eaux bicarbonatées, titrent généralement moins de 300 mg/l de sels. Il convient de noter qu'aux abords des vallées du réseau hydrographique fossile les teneurs en nitrates peuvent excéder 45 mg/l.

## Les eaux des sables moyens

Dans la zone pastorale, ces eaux ne sont encore connues qu'entre le méridien 4° et le Dallol Bosso. Leur magasin n'a été reconnu que par deux forages qui n'ont fait que le traverser sur quelques mètres. Elles ne sont donc citées que pour mémoire, mais on notera que le forage de Bako Maka, légèrement au sud du domaine étudié ici, a traversé ces sables entre 95 et 120 m. Le débit spécifique y est de  $13 \text{ m}^3/\text{h}$  et la transmissivité de  $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

## Les eaux des sables inférieurs

Ici encore, les eaux de ces sables n'ont été identifiées avec certitude qu'entre le méridien 4° et le Dallol Bosso, où plusieurs forages les exploitent. Elles sont contenues dans des sables épais de 15 à 30 m, atteints vers 100 m de profondeur ou plus. Elles peuvent être en charge par rapport aux nappes phréatiques. Les débits spécifiques sont relativement élevés, 2 à  $6 \text{ m}^3/\text{j}$ . Les eaux sont chlorurées et sulfatées sodiques vers l'extérieur du système, bicarbonatées vers le centre de celui-ci. Les résidus secs ne dépassent pas 300 mg/l.

Il est vraisemblable que ce magasin est en continuité avec ceux exploités dans les régions de Ouallam au sud-ouest et de Tahoua au sud-est.

## La nappe pliocène du Manga

Longtemps appelé nappe moyenne des formations du Tchad, cet aquifère, malgré sa vaste extension, n'est intéressant à capter en zone pastorale qu'à l'est du méridien 12° et au sud du parallèle 15° parce qu'offrant là de vastes aires de jaillissement où les conditions de débit et de coût sont acceptables. Ces aires sont équipées par une quarantaine de forages. L'aquifère est atteint entre 250 et 350 m et reconnu sur une épaisseur variant de 20 à 200 m.

Très difficile à capter à cause des caprices de la lithologie (sables mêlés à des argiles), cet aquifère a cependant donné des résultats intéressants. Les débits spécifiques des quelques forages, faits selon les règles de l'art, étant de l'ordre de 2 à  $4 \text{ m}^3/\text{h}$  et les transmissivités oscillant autour de  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . La pression au sol peut atteindre 20 m (N'Guigmi).

Les eaux sont sulfatées et chlorurées sodiques avec un résidu sec variant capricieusement de 140 à 1 600 mg/l. Avec un pH toujours bas et des teneurs en  $\text{CO}_2$  de 3 à 8 meq/l, elles sont hypercorrosives.

## La nappe phréatique du Manga

Il s'agit d'un aquifère complexe, multicouche, contenu dans des dépôts quaternaires, uniformément sableux en affleurement, appartenant à la partie supérieure des formations du Tchad. Il intéresse toute la zone pastorale à l'est du méridien 10°15 et constitue, au point de vue exploitation, un relais entre le continental intercalaire à l'ouest et les aires de jaillissement de la nappe pliocène du Manga près du lac.

Il a été de tout temps exploité par d'innombrables puits, plutôt des trous, cuvelés de bois et de paille, qui pénètrent l'aquifère de quelques centimètres et dont on extrait autant de sable que d'eau. D'une viabilité très précaire et d'une capacité d'abreuvement de quelques dizaines de têtes de bétail par jour, ces ouvrages (on en a inventorié 230 sur le degré carré Lagané, soit un pour  $40 \text{ km}^2$ ) avaient l'avantage de contraindre l'éleveur à changer continuellement de pâturage. Dans les années 70, des puits filtrants et surtout quelques forages ont montré que cet aquifère, puissant de 50 à 90 m, comprend une partie supérieure de sables fins fluents, reposant sur des sables et des graviers toujours mêlés à des argiles, le tout séparé de la nappe pliocène par un épais mur d'argiles semi-perméables. Les eaux de la partie inférieure sont en charge par rapport à celles de la nappe phréatique *sensu stricto*.

Les résultats des captages modernes se résument ainsi : profondeur totale des puits entre 6 et 50 m, profondeur de la surface piézométrique entre 6 et 40 m. Les débits spécifiques des puits exploitant la partie supérieure sableuse du système se situent ordinairement entre 0,5 et  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  avec une moyenne de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , tandis que, pour les forages exploitant la partie inférieure, ce débit tombe à  $1,4 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Les eaux sont bicarbonatées, calciques et sodiques, avec des résidus secs de 500 à plus de 1 000 mg/l. Ces résidus présentent dans le détail des valeurs très heurtées, dues à la présence ou non d'évaporites ; ils croissent ordinairement en direction du lac Tchad.

Parmi tous les aquifères nigériens, la surface piézométrique de ce système connaît des fluctuations de plusieurs mètres d'amplitude, qu'il serait intéressant d'étudier. Au Nigeria, où elles sont particulièrement remarquables, les fluctuations positives des années 50 et 60, ont été attribuées par certains au déboisement.

# **L'exploitation des eaux souterraines et les “unités aquifères”**

## **Historique**

On peut écrire que, de leur installation dans le Sahel jusqu'au lendemain de la seconde guerre mondiale, les pasteurs nigériens n'avaient à leur disposition que les eaux des mares, celles des alluvions plus ou moins liées à ces mares et captées par champ de puisards et les trous d'eau du Manga. Quelques rares puits profonds de 40 à 50 m, creusés par eux ou par leurs prédécesseurs exploitaient les eaux du continental intercalaire ou du continental terminal. L'administration avait construit, avant la guerre, quelques puits, mais avec des résultats décevants.

L'équipement moderne de la zone pastorale n'a donc véritablement commenqué au Niger qu'en 1947, par la construction de puits en béton armé, de 1,80 m de diamètre utile, exploitant les eaux des deux systèmes hydrauliques cités plus haut.

Le forage mécanique fut inauguré en 1948 et, dès 1950, on commença la construction de forages-puits, mais ce n'est qu'en 1953 que l'on réalisa les premiers forages permettant des débits ponctuels de l'ordre de 40 m<sup>3</sup>/h. L'idée de la station de pompage fut abandonnée dès cette date, pour n'être reprise qu'en 1957.

On connaît aujourd'hui les conséquences désastreuses de cette doctrine rigide, fondée sur la station de pompage à grand débit, tant pour les populations du Sahel, que sur la désertification de celui-ci. Ainsi, les études de modernisation de la zone à élevage permanent de bovins poursuivies de 1970 à 1973 amenèrent à penser à nouveau au forage-puits et à se souvenir que la multiplication des points d'eau et l'augmentation de leur débit n'étaient pas la panacée.

## **Les “unités aquifères” et leur exploitation**

On entend ici par “unité aquifère” un domaine de la zone pastorale présentant un ensemble de nappes ou de systèmes hydrauliques précis, donc pouvant être équipé de captages de types, de dimensions et de performances déterminés. Il va de soi que notre propos ici ne tient compte ni du peuplement, ni du pâturage actuels de la zone pastorale.

### **Unité I : les nappes discontinues du socle hydrogéologique**

Cette unité, d'un rôle des plus discrets dans la vie pastorale nigérienne, n'est évoquée ici que pour mémoire, mais il est possible que les travaux récents de recherche d'eau, faits avec succès dans le socle, apportent des aperçus nouveaux sur la mise en valeur de l'extrême ouest de la zone pastorale nigérienne. En fait, cette région devrait être traitée comme une “réserve”.

### **Unité II : la région d'Agadès**

Cette unité a été le domaine de la cure salée. Les nomades s'y donnaient rendez-vous en hivernage. C'était les vacances. Les animaux changeaient de pâturage et prenaient les eaux salées des sources artésiennes, les Teguidda. Puis, chacun regagnait son territoire de parcours, fin octobre.

Quand F. Joulia eut démontré en 1957, par forage, l'existence d'un magasin en charge, sous les argiles de l'Irhazer, tout le monde s'en mêla et les forages se multiplièrent. L'heure est venue d'étudier, avant toute chose, par un modèle mathématique, l'influence des captages actuels sur les eaux salées du primaire.

### **Unité III : le domaine d'affleurement du continental intercalaire**

Les eaux contenues dans les revêtements quaternaires y sont très rares et les nomades ont dû, très tôt, y creuser des puits. Certains louent leur puits et vivent de ce revenu. Cette unité est celle du puits ou du forage-puits ou de la station de pompage là où les perméabilités sont particulièrement basses donc les niveaux de pompage excessivement rebutants. Mais le planificateur se souviendra alors du destin tragique d'Abalak où une splendide forêt, qui abritait quasiment en permanence les plus riches campements Touareg de la “nomade” de Tahoua, a fait place au sable vif après la simple construction d'une station de pompage et de deux maisons.

### **Unité IV : le continental intercalaire sous son toit crétacé et paléocène**

Cette unité, aussi bien à l'ouest qu'à l'est de la précédente, est celle du forage-puits. Les niveaux d'exploitation rendent la station de pompage rarement nécessaire. Dans le Nord-Tahoua, le problème pourra se poser d'avoir recours à la nappe des calcaires à silex turoniens qui peut permettre, là où les débits demandés sont faibles, des niveaux de pompage moins profonds que ceux du continental intercalaire.

### **Unité V : affleurement du continental terminal**

Dans cette unité, l'exploitation du continental intercalaire peut réclamer des forages profonds de 700 à 800 m. Le recours au continental terminal pose avant tout le problème de sa limite d'exploitabilité vers le nord, et on notera que les nappes inférieure et moyenne ne sont connues qu'entre le méridien 4° et le Dallol Bosso, en raison des forages du ranch d'Ekrafane. Ces nappes ont fatalement une extension comparable à celle du système phréatique. Il apparaît que, compte tenu des performances des méthodes actuelles de forage, il est judicieux d'avoir directement recours au forage lorsqu'il y a incertitude sur l'existence de nappes vers l'unité III et vers l'extrême-ouest de la zone pastorale.

## Unité VI : du Manga et du rift du Niger oriental

L'exploitation éventuelle des eaux des immenses réservoirs du rift est subordonnée à la publication des résultats des forages pétroliers. Mais, la zone pastorale du Niger oriental dispose heureusement du système phréatique du Manga relayé vers le lac par la nappe pliocène jaillissante. Le choix est épineux entre le puits traditionnel creusé par l'éleveur lui-même et ne permettant d'abreuver que quelques dizaines de têtes de bovins par jour, et le très coûteux puits filtrant, captant la nappe phréatique sur une grande hauteur.

Dans les aires de jaillissement, le forage s'impose, qui devra être équipé de tubages et de crépines en fibre de verre, car les eaux du pliocène sont hypercorrosives. En fait, il ne semble guère que l'on puisse augmenter encore le nombre des forages exploitant cet aquifère.

## Conclusion

La zone pastorale nigérienne dispose presque en chaque point de sa surface d'un ou de plusieurs systèmes hydrauliques multicouches offrant des types de captages aux performances et au coût de l'eau variés.

On peut avancer que chaque problème d'exploitation d'eau au bénéfice des éleveurs est ainsi techniquement résolu et que seule se pose réellement la question essentielle de la recherche de coûts acceptables de l'eau, c'est-à-dire de construction, de maintenance et de fonctionnement des captages.

On notera, en outre, qu'au Sahel comme partout ailleurs, pour un budget donné, le volume des réserves pratiquement exploitables sous chaque kilomètre carré évolue en sens inverse de ces coûts.

Si pendant ces quarante dernières années les surfaces piézométriques des nappes phréatiques du Manga ont connu des fluctuations tour à tour positives ou négatives, celles des autres grands systèmes hydrauliques nigériens ne semblent pas avoir présenté pendant la même période de fluctuations sensibles. Mais, tandis qu'à la fin de la dernière période humide du quaternaire, il y a quelques 5 000 ans, ces surfaces étaient en équilibre avec celles des nappes alluviales du réseau hydrographique, elles sont aujourd'hui jusqu'à 40 à 80 m plus bas. La surveillance rigoureuse des surfaces piézométriques ne serait pas sans présenter un intérêt scientifique indispensable et sans rappeler qu'au Sahel les réserves exploitables ne sont pas inépuisables.

## BIBLIOGRAPHIE

1. **Boeckh E.** – Contrôle géologique des puits FED. Contribution à l'étude hydrogéologique de la zone sédentaire de la République du Niger. Orléans, BRGM, 1965. (Rapport du groupement B.f.B DAK 65 A 20).
2. **BRGM** – Notice explicative des cartes de planification des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne. Orléans, BRGM, 1975.
3. **CIEH - BRGM** – Cartes de planification des ressources en eau souterraine des États membres du CIEH et l'Afrique soudano-sahélienne. Orléans, BRGM, 1976.
4. **Greigert J.** – Introduction à la connaissance hydrogéologique du bassin occidental du Niger. Rapport. Dir. général. Mines AOF 3 vol. 1957.
5. **Greigert J.** – Les eaux souterraines de la République du Niger. 2 vol. Orléans, BRGM, 1968. (Rapport 68 ABI 006 NIA).
6. **Greigert J.** – Modernisation de la zone pastorale nigérienne. Proposition d'un programme de construction de captages d'eau. Orléans, BRGM, 1973. (Rapport 73 NIA 001).
7. **Greigert J.** – L'exploitation et la gestion de l'eau dans la lutte contre la désertification et dans le développement du Niger. Niger, BRGM, 1974.
8. **Greigert J.** – Atlas des eaux souterraines du Niger. État des connaissances (mai 1978). Orléans, BRGM, 1979.
9. **Greigert J., Pognet R.** – Carte géologique de la République du Niger au 1/2 000 000<sup>e</sup> et notice explicative. Orléans, BRGM, 1967.
10. **Greigert J., Sauvel A.** – Modernisation de la zone pastorale nigérienne. Étude hydrogéologique. Orléans, BRGM, 1970. (Rapport 70 ABI 006 NIA).
11. **Joulia F.** – Hydrogéologie des régions à l'Ouest et au Sud de l'Aïr (Niger). Orléans, BRGM, 1965. (Rapport DAK 65 A 16).
12. **Marty A.** – Les problèmes d'abreuvement et le fonctionnement des stations de pompage vus par les éleveurs de l'arrondissement de Tchinn Tabaraden. Niamey, Secrétariat d'État à la Présidence, 1972.
13. **Pirard F.** – Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Orléans, BRGM, 1964. (Rapport DAK 64 A 11).
14. **Reichelt R.** – Géologie et hydrogéologie de la bordure S.E. du Gourma. Orléans, Bureau de Recherches géologiques et minières (BRGM), 1962.